



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ PLECHŮ V PRŮMYSLOVÉ  
PRAXI**

METAL SHEETS JOINING TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL PRACTICE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Samuel Müller**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.**

**BRNO 2019**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Samuel Müller**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Technologie spojování plechů v průmyslové praxi

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled metod spojování plechu studiem odborné literatury, webových stránek a získaných poznatků z průmyslové praxe. Porovnání vybraných metod spojování plechů.

### Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše současných metod spojování plechů.

Navrhnout nové možnosti v technologii spojování plechů a jejich srovnání s přihlédnutím k pevnosti spoje.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press, 2004. 219 p. ISBN 0-8311-3182-9.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. 212 s. ISBN 978-80-7080-741-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

MÜLLER Samuel: Technologie spojování plechů v průmyslové praxi.

---

Práca sa zaoberá problematikou spájania plechov. Na základe literárnej rešerše rozoberá jednotlivé metódy spájania plechov a ich technologické princípy. Pomocou vybraných metód spájania boli vytvorené vzorky spojov. Následne boli vzorky testované skúškou ťahom na trhacom stroji. Vzorky boli vyrobené z pozinkovanej ocele DX51 s hrúbkou 2 mm. Vybranými metódami spájania boli bodové odporové zvarovanie a nitovanie trhacími nitmi. Ťahovou skúškou bola určená sila, pri ktorej dôjde k porušeniu spoja. Výsledky ťahových skúšok boli porovnané s výsledkom skúšky klinčového spoja prevzatého z literatúry.

**Kľúčové slová:** Spájanie plechov, bodové odporové zvarovanie, nitovanie trhacími nitmi

## **ABSTRACT**

MÜLLER Samuel: Metal sheets joining technology in industrial practice.

---

This bachelor thesis specifies the problem of metal sheet joining. It analyzes methods and technological principles of metal sheets joining based on a literature research. Sample joints were created using selected joining methods. The joints were then tested with a tensile test. The samples were made of zinc coated steel DX51 of thickness 2 mm. Selected joining methods were resistance spot welding and blind riveting. The tensile test determined the force at which the joints were damaged. The tensile tests results were compared to a result of clinched joint testing taken from literature.

**Keywords:** Metal sheet joining, resistance spot welding, blind riveting

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

MÜLLER Samuel. *Technologie spojání plechů v průmyslové praxi*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116776>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Dvořák.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho bakalárskej práce.

V Brne dňa 24.5.2019

.....

Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pánovi doc. Ing. Milanovi Dvořákovi, Csc. za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce, firme GE-Metal Štós za umožnenie výroby vzoriek, Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně za umožnenie a pomoc pri vykonaní ťahovej skúšky. Takisto chcem poďakovať rodičom, rodine a priateľom za podporu počas celého štúdia.

# OBSAH

Zadanie

Abstrakt

Bibliografická citácia

Čestné prehlásenie

Pod'akovanie

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ZÁSADY SPÁJANIA PLECHOV .....</b>	<b>10</b>
<b>2 METÓDY SPÁJANIA PLECHOV .....</b>	<b>11</b>
2.1 Bodové odporové zvaranie.....	11
2.2 Švové zvaranie.....	13
2.3 Výstupkové zvaranie .....	14
2.4 Nitovanie.....	15
2.5 Nitovanie trhacími nitmi.....	15
2.6 Samodierovacie nitovanie.....	16
2.7 Klinčovanie .....	17
2.8 Trecie samozávrtné skrutky.....	18
2.9 Bodové trecie zvaranie.....	19
2.10 Bodové odporové nitovanie .....	20
<b>3 PEVNOSŤ SPOJA VYBRANÝCH METÓD.....</b>	<b>22</b>
3.1 Skúšobné vzorky bodového odporového zvaru.....	22
3.2 Skúšobné vzorky nitových spojov.....	23
3.3 Skúška ťahom.....	24
3.4 Porovnávací skúška klinčového spoja.....	24
3.5 Výsledky skúšky ťahom .....	25
<b>4 ZÁVERY .....</b>	<b>28</b>

Zoznam použitých zdrojov

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Zoznam príloh



## ÚVOD [1], [2]

Plech je kovový materiál, ktorý má široké možnosti využitia. Je to v podstate tenká kovová doska konštantnej hrúbky. Práve malá hrúbka plechu zabezpečuje jednoduchosť tvarovania a široké možnosti jeho formovania do najrôznejších tvarov. Takto formovaný kus plechu, či je to už ohýbaním alebo lisovaním, však málokedy má ako výrobok sám o sebe zmysel. Preto vzniká potreba spájať plechové diely s inými materiálmi, konštrukciami alebo s ďalšími plechovými dielcami. Kvôli obrovskému množstvu rôznych druhov plechových komponentov vzniklo mnoho rozličných požiadaviek na vlastnosti spoja. Pre uspokojenie týchto požiadaviek bolo vyvinutých veľa odlišných metód spájania plechov.

Existuje veľa druhov technologických procesov spájania plechov od klasického nitovania, až po najnovšie moderné a veľmi efektívne metódy, ktoré vznikli s požiadavkami trhu na rýchle, lacné a spoľahlivé spájanie plechov v rôznych priemyslených odvetviach, napríklad v leteckom priemysle, automobilovom priemysle a pri výrobe bielej techniky. V súčasnosti, so stále narastajúcim rozvojom ľahkého priemyslu, automobilového priemyslu, ale aj s rozvojom iných priemyselných odvetví, narastá využívanie technológie spájania plechov rôznymi metódami. Kvalitné, efektívne, ekonomicky nenáročné technológie na spájanie plechov s vysokým dôrazom na životné prostredie sú hlavnými atribútmi úspechu mnohých firiem v medzinárodnej konkurencii.

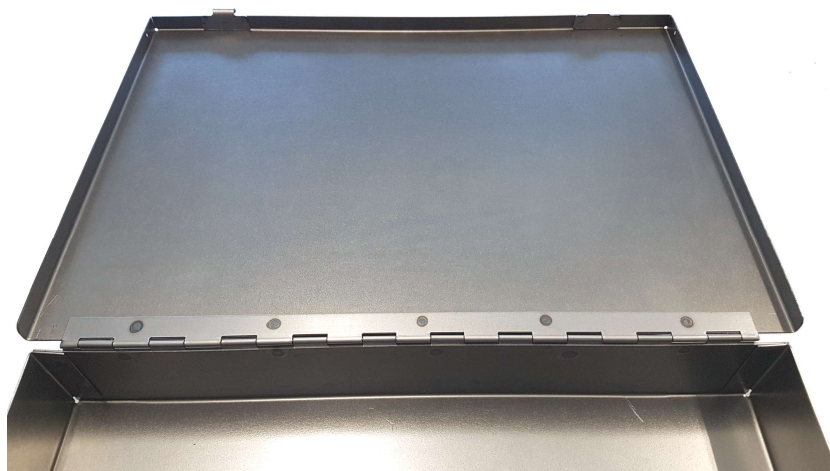
Technológia spájania plechov je veľmi zaujímavá a širokospektrálna téma, ktorá sa vďaka neustálemu zvyšovaniu požiadaviek na vlastnosti spoja a snahe čo najviac znížiť vplyv na životné prostredie ešte vždy mení a tým dáva priestor na ďalší výskum.



Obr. 1 Samodierovacie nitovanie [19]



Obr. 2 Spoj trhacími nitmi [14]



Obr.3 Kufrík spojený bodovým odporovým zváraním

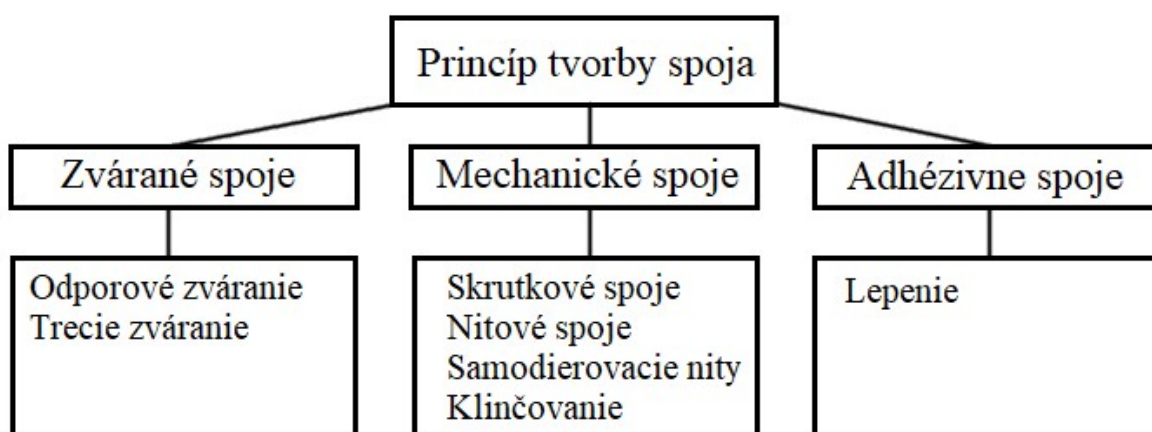
## 1 ZÁSADY SPÁJANIA PLECHOV [1], [2], [3], [4], [5]

Plech je jeden zo základných polotovarov, ktoré sa využívajú pri výrobe automobilov, lietadiel a iných dopravných prostriedkov, spotrebných výrobkov, bielej techniky, nábytku a pre krytovanie rôznych výrobkov a zariadení. Klasické materiály, ktoré sa spájajú, zahŕňajú mäkkú oceľ, moderné vysokopevnostné ocele a ľahké kovy ako hliník, horčík a titán. Tieto materiály majú široký rozsah pevností. Typickou vlastnosťou pre plechy je, že ich hrúbka je v pomere s ostatnými rozmermi veľmi malá. Pre efektívne prenášanie záťaže je potrebné prekrytie dvoch plechových dielcov rovnajúce sa 10 až 100 násobku ich hrúbky.

Existuje mnoho rozličných metód spájania plechov, ktoré sú založené na odlišných princípoch. Pre výber vhodnej metódy pre konkrétny plechový výrobok je podstatných niekoľko faktorov:

- Materiál, z ktorého sú plechové polotovary vyrobené. Niektoré metódy spájania môžu byť nevhodné pre určité materiály. Ide hlavne o vzájomnú zvariteľnosť materiálov alebo o nedostatočnú ťažnosť a tvariteľnosť.
- Veľkosť a typ zaťaženia. Je to je to jeden z najzákladnejších faktorov, podľa ktorého je nutné voliť metódu spájania. Ak je pre dané zaťaženia zvolený nevhodný druh spoja, spoj zaťaženie nemusí vydržať a môže zlyhať. Zaniká funkčnosť spoja a tým pádom ide o najvážnejšiu chybu, ktorej sa treba vyvarovať.
- Vhodnosť metódy pre spájanie odlišných materiálov a materiálov odlišných hrúbok.
- Možnosť spájania troch a viacerých vrstiev plechu.
- Vodotesnosť a plynutosť. Pre niektoré plechové výrobky ako sú napríklad potrubia, alebo radiátory je nevyhnutné, aby spoje disponovali touto vlastnosťou.
- Rozoberateľnosť spoja.

Metódy spájania plechov podľa princípu tvorby spoja sa delia do troch kategórií, tak ako to zobrazuje obrázok 4. Niektoré metódy sa však podľa tohto rozdelenia nedajú jednoducho zaradiť, pretože používajú kombináciu princípov tvorby spoja.



Obr. 4 Rozdelenie spojov podľa rôznych princípov tvorby spoja [1]

## 2 METÓDY SPÁJANIA PLECHOV [1], [2], [5]

Táto kapitola sa zaoberá jednotlivými metódami spájania plechov, ich vhodnosťou pre určité výrobné postupy a zhrnutím ich výhod a nevýhod.

Technológie spájania plechov je možné deliť podľa niekoľkých hľadísk:

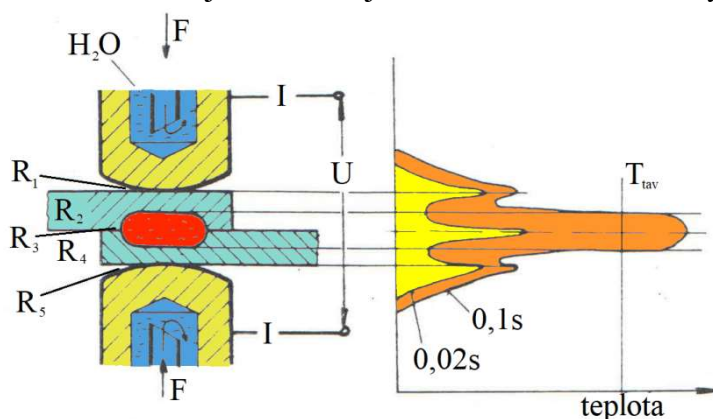
- podľa použitia prídavných spojovacích materiálov,
- podľa potreby predprípravy plechu (vyhotovenie diery pre spájací materiál),
- podľa rozoberateľnosti spoja,
- podľa energetickej a časovej náročnosti výroby spoja,
- podľa nákladov na výrobu spoja.

### 2.1 Bodové odporové zváranie [1], [2], [5], [6], [8]

Bodové odporové zváranie (BOZ) sa využíva k spájaniu preplátovaných kusov kovových materiálov. Táto spojovacia metóda je z časového hľadiska veľmi efektívna. Tvorba jedného bodového zvaru je rádovo v jednotkách sekúnd. Priemyselne zvárané dielce majú hrúbku

do 3 mm. Bodové odporové zváranie sa využíva pri výrobe rôznych produktov od automobilových karosérií cez krytovanie rôznych prístrojov a zariadení až po nábytok. Celý tento proces môže byť plne automatizovaný.

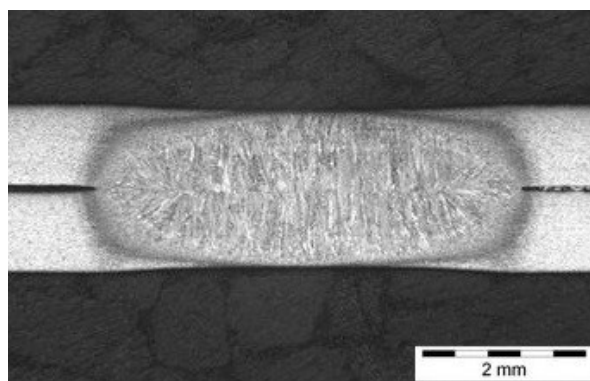
Bodové odporové zváranie je proces, pri ktorom sa spájajú kovové povrchy materiálov spojmi, ktoré majú tvar malého bodu. Spoj sa tvorí teplom, ktoré



Obr. 5 Tvorba zvaru a priebeh teplôt [7]

vzniká prechodom elektrického prúdu cez spájané dielce. Elektrický prúd je do dielcov privádzaný pomocou elektród. Ďalšou funkciou elektród je pridŕžiavanie spájaného materiálu silovým pôsobením. Dotýkajúce sa povrchy sú v oblasti prechodu prúdu zahriate krátkym časovým pulzom nízkeho napätia a vysokého prúdu. Metódou odporového zvárania je možné roztaviť akýkoľvek kov alebo zliatinu vo veľmi krátkom čase. Vyvinuté teplo sa určí podľa Joulovho zákona a je závislé na veľkosti elektrického prúdu a na súčte všetkých odporov, ktorými elektrický prúd prechádza. Tvorba zvaru a priebeh teplôt sú znázornené na obrázku 5. Silové pôsobenie elektród na materiál sa zachováva aj po prerušení toku elektrického prúdu, počas čoho sa tekutý kov rýchlo ochladzuje a tuhne. Následne je prerušené silové pôsobenie a elektródy sú odobrané zo zvaranej oblasti. Týmto postupom vzniká bodový spoj, ktorý je tvorený roztaveným a vzápätí stuhnutým kovom.

Veľkosť a tvar bodového spoja závisí hlavne od tvaru elektród. Materiál sa začína taviť na spoločnom rozhraní spojovaných dielcov, ale nesmie presiahnuť druhú stranu dielca. Riadne zhotovený spoj má v pričnom reze oválny tvar v podobe šošovice ako na obrázku 6. Pri pohľade zhora má spoj rovnaký tvar ako čelo elektródy a približne rovnakú veľkosť.



Obr. 6 Bodový zvar v priereze [9]

Bodové zvaranie je najčastejšie používaná spojovacia technológia pre zostavovanie produktov z plechu. Výrobky, pri ktorých nie je požiadavka na vzduchotesnosť alebo vodotesnosť, môžu byť produkované bodovým odporovým zvaraním omnoho rýchlejšie a efektívnejšie ako inými metódami.

Medzi hlavné výhody bodového zvarania patrí rýchlosť zhotovenia zvarov a možnosť plnej automatizácie procesu na výrobných linkách súčasne s inými operáciami, napr. strihanie, ohýbanie. Zvárací prúd, čas a veľkosť silového pôsobenia elektród môže byť automaticky kontrolovaná a týmto je umožnená vysoká produkcia. V porovnaní s inými spájacími technológiami je bodové odporové zvaranie nákladnejšia metóda, a to kvôli používanému zváraciemu prúdu. Za podmienky použitia vhodných prístrojov je ďalšou výhodou BOZ

Tab. 1 Zvariteľnosť kovov [6]

A - výborná B - dobrá C - dostatočná D - slabá E - nedostatočná F - nemožná	Hliník	Nehrdzavejúca oceľ	Mosadz	Meď	Pozinkovaná oceľ	Oceľ	Nikel	Zinok
Hliník	B	E	D	E	C	D	D	C
Nehrdzavejúca oceľ	E	A	E	E	B	A	C	F
Mosadz	D	E	C	D	D	D	C	E
Meď	E	E	D	F	E	E	D	E
Pozinkovaná oceľ	C	B	D	E	B	B	C	C
Oceľ	D	A	D	E	B	A	C	F
Nikel	D	C	C	D	C	C	A	F
Zinok	C	F	E	E	C	F	F	C

zvariteľnosť väčšiny konvenčne používaných kovov. Ako ukazuje tabuľka 1, zvariteľnosť kombinácií rôznych kovov je už horšia.

Metódou BOZ sa najideálnejšie spájajú dva plechy z rovnakého materiálu a rovnakej hrúbky. Je to kvôli princípu tepelnej rovnováhy zvaru. Pri nedodržaní tepelnej rovnováhy sa kov nezačína taviť na rozhraní dvoch spojovaných materiálov a tým dochádza k nerovnomernej tvorbe zvaru. Dôsledkom toho je nižšia kvalita daného spoja. Ak je z konštruktérskoho

hľadiska nevyhnutné spájať dielce rozličných hrúbok alebo z rozličného materiálu, je potrebné zabezpečiť tepelnú rovnováhu zvaru. Tento problém sa rieši zvaraním elektródami s rôznymi priermi. Volenie priemeru elektród je priamo úmerné ohmickému odporu materiálu.

V závislosti od stupňa automatizácie môžu zariadenia pre BOZ pozostávať z jednoduchých a lacných prístrojov až po konštrukčne zložité a drahé. Bodové odporové zvaračky sa skladajú z troch základných častí:

- Elektrického obvodu, ktorý tvorí zvarovací transformátor, spínač a sekundárny obvod.
- Kontrolného obvodu, ktorý časuje a reguluje elektrický prúd.
- Mechanického systému, ktorý sa skladá z rámu na ktorom sú ďalšie prístroje, ktoré pridržiavajú zvarovaný materiál a vyvíjajú potrebnú zvarovaciu silu.



## 2.2 Švové zváranie [2], [6], [10]

Švové zváranie patrí do kategórie odporového zvárania, kde teplo, vzniknuté tokom elektrického prúdu, v kombinácii s pôsobiacou silou tvorí švový zvar - šev. Tento šev je najčastejšie tvorený sériou prekrývajúcich sa bodových zvarov. Obvykle toto spojenie býva plynutesné a vodotesné. Ak výrobok nevyžaduje, aby bol zvar neprerušavaný, môže sa zvárací prúd privádzať do elektód prerušovane. Postup švového zvárania je zobrazený na obrázku 11. Elektrický prúd je privádzaný pomocou dvoch kotúčových elektród, prípadne pomocou jednej kotúčovej elektródy s pevnou osou a druhej elektródy, ktorú tvorí pevná, alebo posuvná podložka, prípadne tŕň. Séria bodových zvarov sa produkuje bez prerušenia kontaktu elektród so zvarovanými dielcami. Postup kotúčov voči zvarencom môže byť plynulý alebo prerušovaný.

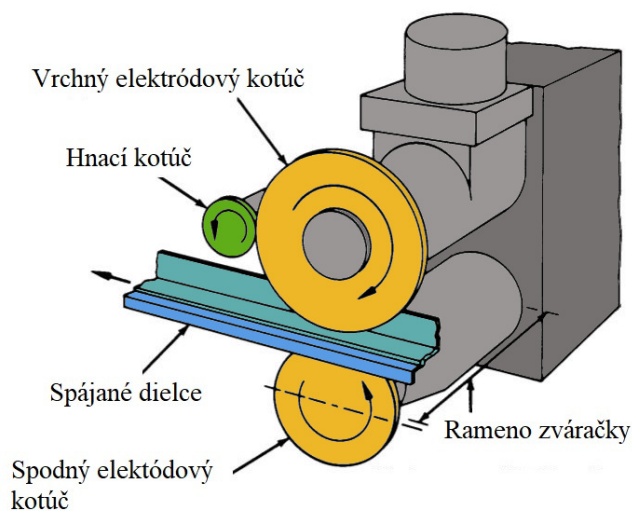
Hlavné výhody švového zvárania voči bodovému odporovému zváraníu sú:

- plynutesnosť a vodotesnosť,
- šírka švu môže byť menšia ako priemer bodového zvaru,
- možnosť vysokej rýchlosti zvárania (hlavne pri zváraní tenkých plechov),
- povlakované plechy sa ľahšie zvárajú švovým zváraním ako bodovým zváraním.

Hlavné nevýhody oproti bodovému odporovému zváraníu sú:

- Zvary musia po sebe nasledovať v jednej rovine alebo po rovnomerne zakrivenom povrchu.
- Je potrebné vyhnúť sa prekážkam pozdĺž dráhy elektrónových kotúčov.
- Manipulácia so zvaranými dielcami musí byť taká, aby neovplyvnila tuhnúci kov.
- Dĺžka švov vytvorených v pozdĺžnom zvaracom stroji (zváracie kotúče sa otáčajú v rovnobežnej rovine s osou ramien zváracieho stroja) je obmedzená dĺžkou ramien.

Zvariteľnosť švovým zváraním nízkouhlíkových, vysokouhlíkových, nízkolegovaných, nehrdzavejúcich ocelí, ale aj mnohých ďalších povlakovaných ocelí je dostatočná pre tvorbu kvalitného spoja. Pri zváraní zliatiny s obsahom uhlíka nad 0,15% je náchylnosť k tvorbe oblastí tvrdého martenzitu. Preto viac namáhané súčasti si vyžadujú popúšťanie na zníženie tvrdosti a krehkosti. Švovým zváraním sa bežne spájajú aj neželezné zliatiny hliníka a zliatiny niklu.

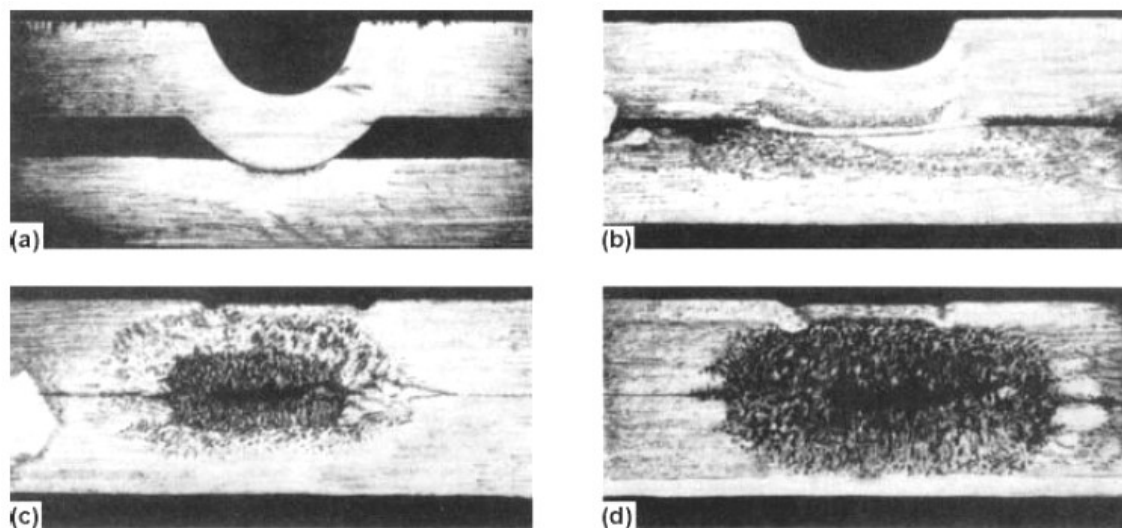


Obr. 7 Švové zváranie [2]

## 2.3 Výstupkové zváranie [2], [6]

Výstupkové zváranie je druh odporového zvárania, pri ktorom elektrický prúd preteká cez konštrukčne a tvarovo predurčené body - výstupky. V týchto bodoch je vyvíjané teplo a vzniká zvar. Výstupky môžu mať akýkoľvek tvar podľa potrieb zvárania konkrétnych súčastí. To umožňuje spájať dielce rôznych tvarov.

Na obrázku 8 je zobrazený priebeh tvorby výstupkového zvaru v priereze zvaru. V prvej fáze zvárania sú zvarence tlakom lisu pritlačené k sebe bez použitia prúdu, prípadne môžu byť výstupky až vtlačené do párového dielca (a). Následne sa spustí tok prúdu. Po približne 20% percentách času toku prúdu sa výstupok zahreje natoľko, že sa pod tlakom zborí (b). Až po uplynutí 50% času zvárania sa začína tvoriť výstupkový zvar v tvare šošovky. Zvar má približne polovičnú veľkosť konečného zvaru po 70% zvarovacieho času a zaniká medzera medzi spojovanými časťami (c). Šošovka sa naďalej zväčšuje až do ukončenia toku elektrického prúdu a naberá finálnu veľkosť a tvar (d).



Obr. 8 Priebeh tvorby výstupkového zvaru [2]

Medzi výhody výstupkového zvárania patrí veľký počet zvarov, ktoré je možné vyrobiť jednou zvaracou operáciou. Tento počet je obmedzený iba možnosťami zvaracieho zariadenia regulovať elektrický prúd a zvaraciu silu. Koncentrácia prúdu vo zvine je väčšia a tým je menšia šanca, že nastane nežiadúci efekt vybočenia. Tým pádom vzdialenosť medzi jednotlivými zvarmi môže byť menšia ako u bodového zvárania. Plocha elektród používaných pri výstupkovom zváraní je oveľa väčšia ako plocha elektród pri BOZ. Väčšia plocha, cez ktorú tečie elektrický prúd znamená menšiu prúdovú hustotu, čo znižuje opotrebovanie elektród. Výstupkovým zváraním je možné spájať dielce, ktoré sú príliš hrubé na použitie BOZ. Hlavnou nevýhodou výstupkového zvárania je nevyhnutnosť k výrobnému procesu pridať operáciu, pri ktorej sa zhotovia výstupky.

K výstupkovému zváraní sa využívajú lisy s jednofázovým alebo trojfázovým transformátorom. Zvaracie lisy sa musia pohybovať priamočiarym pohybom, pretože inak môže dochádzať k sklzu medzi dielcami. Hlavné parametre, ktoré majú vplyv na zvar sú veľkosť elektrického prúdu, veľkosť sily, ktorou pôsobia elektródy a zvarací čas. Odporúča sa používať najväčší možný prúd, ktorý ešte nespôsobuje vytrysknutie roztaveného kovu. Sila zovretia elektród závisí od druhu spájaného kovu, veľkosti a tvaru výstupkov a ich počtu. Pri použití príliš veľkej sily sa výstupky zboria ešte pred tým, ako je dosiahnutá správna teplota. To vedie k vytvoreniu chybného kruhového zvaru, pri ktorom dochádza k taveniu materiálu po obvode tohto kruhu a v strede ostáva kov tuhý. Zvarací čas závisí od veľkosti elektrického prúdu a tuhosti výstupku.

## 2.4 Nitovanie [5], [11], [12], [13]

Nitovanie je jednou z najstarších technológií spájania materiálov pomocou tvárnenia. Napriek tomu je nitovanie vždy využívané aj v dnešnej dobe a nitové spoje majú vlastnosti, ktoré robia túto technológiu z bezpečnostného hľadiska nenahraditeľnou. To platí pre oceľové konštrukcie budov, karosérie automobilov, ako aj pre letecký priemysel. Dokonca aj najmodernejšie lietadlá sa vždy vyrábajú nitovaním, kde plechové dielce sú spájané plnými nitmi. Vyplýva to zo skutočnosti, že nitové spoje majú dlhú životnosť pre cyklicky namáhané dielce. Nenáročný princíp tvorby spoja a jednoduchý spôsob kontroly kvality spoja sú dva hlavné dôvody, prečo je táto technológia vždy využívaná aj v dnešnej priemyselnej praxi.

Pomocou konvenčného nitovania sa tvorí tvarovo-silový spoj. V priebehu pretvorenia môže dôjsť aj k nežiadúcemu porušeniu, alebo vzniku trhlin. Spojovací materiál - nit sa skladá z hlavičky a z drieku. Tvorba nitového spoja začína vložением plného, polodutého alebo rúrkového nitu do predpripravených dier v spájaných dielcoch tak, aby plochá strana hlavičky bola priľahnutá so spájaným dielcom. Spoj sa tvorí deformáciou drieku, vytŕčajúcej z protiľahlého kusu. Hlavička môže byť deformovaná lisovaním, valcovaním, alebo pomocou bucharov. Nity môžu byť vyrobené z rôznych materiálov, ale čím pevnejší materiál je použitý, tým je nutná väčšia sila k tvorbe spoja.

Podľa tvaru hlavy a drieku nitu existuje množstvo druhov nitov, ktoré sú prispôbené rôznym požiadavkám, ako napríklad pevnosť spoja, alebo vodotesnosť a plynutosť spoja. Môžu byť vyrobené z rôznych materiálov, najčastejšie z hliníka, mosadze a ocele, ako je

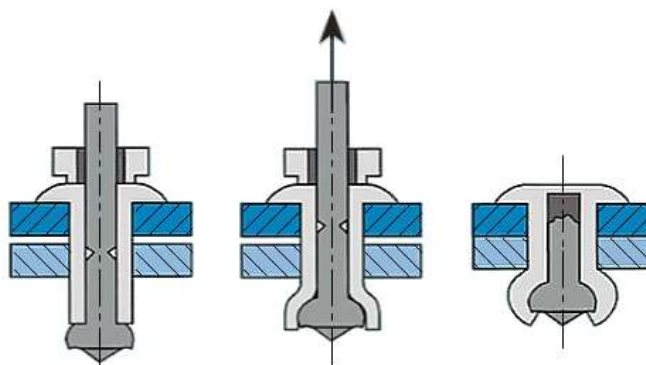


Obr. 9 Rôzne druhy nitov [12]

rozdeliť na spoje preplátované alebo spoje vytvorené pomocou jednej, či dvoch stykových dosiek. Nitovými spojmi sa môžu spájať rôzne materiály. Nevýhodou nitových spojov je potrebná predpríprava diery pre spoj, ktorá je koncentrátorom napätia v dielci. Spoj nezaručuje presnú vzájomnú polohu spájaných dielcov. Nevyhnutnosť prístupu pri zhotovovaní spoja k oboom stranám spájaných dielcov je ďalšou nevýhodou, ktorá viedla k vývoju metódy spájania pomocou trhacích nitov.

## 2.5 Nitovanie trhacími nitmi [5], [14]

Nitovanie trhacími nitmi je druh spojovacej metódy, ktorou sa tvorí nerozoberateľný spoj. Na rozdiel od používania bežných nitov, nie je potrebný prístup k spájaným dielom z oboch strán. Preto sa trhacie nity niekedy nazývajú aj slepé nity. Celý proces je časovo efektívnejší vďaka tomu, že sa nituje iba z jednej strany konštrukcie. Existuje množstvo druhov trhacích nitov v závislosti od priemeru, materiálu a tvaru.



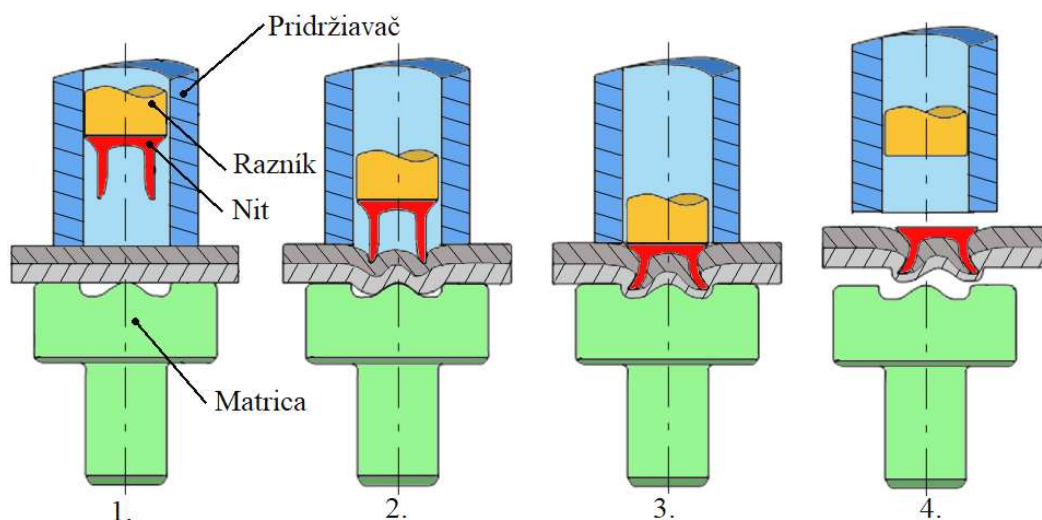
Obr. 10 Postup nitovania trhacími nitmi [15]

Trhacie nity boli vyvinuté pre použitie v leteckom priemysle, ale našli široké uplatnenie aj pri výrobe mnohých ďalších výrobkov, pri ktorých sa spájajú rôzne plechové diely. Nitový spoj sa vytvára pomocou nitovacích nástrojov, ktoré môžu byť ručné, hydraulické, pneumatické alebo elektrické. V dnešnej dobe je možné používať plne automatizované nitovačky s podávačmi nitov, čo ešte zefektívňuje výrobu.

Trhací nit sa skladá z dutého tela nitu a pevného trňa. Telo nitu má tvar malej rúrky, ktorá je na jednom konci rozšírená. Rúrková časť sa nazýva stopka a predtvarovaná rozšírená časť sa nazýva hlava. Trň sa nachádza v tele nitu a je dlhší ako telo. Prečnievajúca časť sa nazýva driek. Postup tvorby spoja je znázornený na obrázku 10. Nit je vložený do vopred pripravenej diery spájaných dielov. Následne čeluste nitovacieho nástroja uchopia trň a začnú ho vťahovať. Vťahovaním trňa sa deformuje telo nitu, pričom sa formuje hlavička na slepej strane nitu. Pri určitej sile, ktorou je nit vťahovaný, sa z trňa odlomí drieková časť a nitový spoj je hotový. Driek nitu sa musí odlomiť, až keď je telo nitu sformované do požadovaného tvaru.

## 2.6 Samodierovacie nitovanie [1], [5], [16], [17], [18], [19]

Samodierovacie nitovanie (self-piercing riveting - SPR) je metóda spájania plechov na princípe tvárnenia za studena, pri ktorej sa nitom prepichnú vrchné spojovacie dielce a nit čiastočne prepichne spodný plech, pričom v ňom zostáva zakotvený. Táto technológia umožňuje spájať aj viacero listov plechu z rôzneho materiálu. Taktiež je možné použiť nity v kombinácii s lepidlom a postup plne automatizovať. SPR sa v súčasnosti stáva často používanou metódou pre spájanie hlavne hliníkových plechov v automobilovom priemysle.



Obr. 11 Tvorba spoja pomocou samodierovacieho nitovania [19]

Hlavnými časťami nitovacieho nástroja sú razník a matrica. Tvorba spoja, zobrazená na obrázku 11, začína vložením materiálu do nitovacieho nástroja, v ktorom sa upne pomocou pridržiavača. Je potrebné, aby sila, ktorou pôsobí pridržiavač, bolo primeraná. Následne sa začína vtláčať nit pomocou razníka. Vtláčanie nitu vytvára dieru do vrchného plechu, z čoho je odvodený názov tejto metódy. Nit prejde vrchným plechom. V prípade, že sa spája viac ako dva plechy, nit prechádza aj strednými plechmi, čo je zobrazené na obrázku 12. Do spodného plechu sa nit zatlačí iba čiastočne. Nit tlačí na spodný plech a tým ho formuje podľa tvaru matrice. Tvar matrice je navrhnutý tak, aby sa v spodnom plechu vytvorilo vhodné miesto, do ktorého sa môže nit zaryť. Spodná časť nitu je taktiež formovaná podľa tvaru matrice. Nit sa mierne rozťahne, čím vzniká tvarový spoj.



Po skončení formovania spoja sa pridržiavač aj razník odľahčí a nitovací nástroj sa odoberie. Je dôležité, aby materiál nitu bol vhodný pre daný spojovaný materiál.

Hlavnou výhodou SPR spojov je, že nie je potrebné vyvrtávať alebo vysekávať diery do spájaného materiálu. Vďaka tomu sa nevytvárajú zbytočné koncentráty napätia v materiáli, a takisto je to úsporné z ekonomického aj časového hľadiska. Keďže táto technológia je založená na princípe tvárnenia za studena, nevytvára sa v mieste spoja teplom ovplyvnená oblasť. To umožňuje spájať aj povrchovo upravené plechy. Pevnosť spoja je porovnateľná s bodovým odporovým zvarovaním, no únavová pevnosť môže byť až dvakrát vyššia. Pri nitovaní nevznikajú žiadne škodlivé výpary ani dym, a taktiež nedochádza k vystrekovaniu tekutého kovu a iskier ako pri BOZ. Nevýhodou je, že k tvorbe spoja je potrebný prístup k obojstrannému spájanému materiálu.



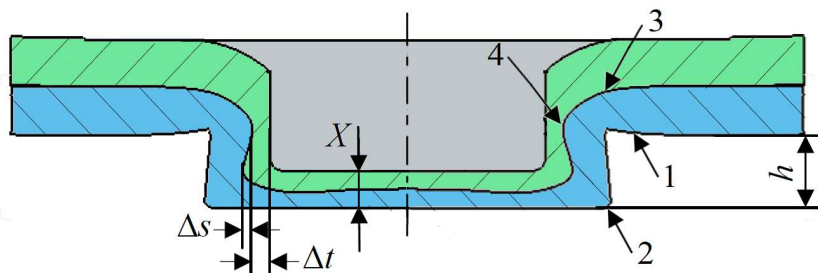
Obr. 12 SPR spoj troch plechov v priereze [19]

## 2.7 Klinčovanie [1], [5], [20], [21], [22]

Klinčovanie je metóda spájania plechov, pri ktorej sú dva listy materiálu tvárnené za studena do tvaru, ktorý tvorí mechanické spojenie medzi listami. Klinčovanie sa využíva v automobilovom priemysle pri výrobe karosérií, pri výrobe dopravných prostriedkov, domácich spotrebičov a v elektrotechnickom priemysle. Keďže ide o novšiu technológiu, v uvedených druhoch výroby nahrádza bodové odporové zvarovanie.

Proces tvorby spoja začína umiestnením polotovarov do klinčovacieho nástroja, ktorého hlavnými časťami sú razník a matrica. Pridržiavač sa pritlačí na materiál, čím zabráni vzájomnému posuvu plechov mimo požadovanú polohu. Následne razník pretlačí materiál do matrice. Matrice sa delia na typy s pohyblivými prvkami a typy s nepohyblivými prvkami. Podľa tvaru matrice a razníka sa formuje tvar klinčového spoja. Takto sa vytvára trvalo nerozoberateľný spoj.

Pri výrobe klinčového spoja sa nepoužíva žiaden prídavný materiál alebo iné spojovacie



Obr. 13 Klinčový spoj [22]

prvky. Pretože spoj je tvárnený za studena,

nevzniká tepelne ovplyvnená oblasť ako pri odporovom zvarovaní. Ďalšou výhodou je, že nie je nutné predvrtávať diery pre spojovacie prvky. Týmto sa do plechov nezavádzajú prebytočné koncentráty napätia. Klinčovaním je možné spájať aj povrchovo upravené alebo povlakované plechy. Takisto je možné spájať plechy z rôzneho materiálu alebo rôznych hrúbok, čo pri bodovom odporovom zvarovaní nie je ideálne a prináša to komplikácie do výroby. Môžu byť spájané materiály s vysokou medzou pevnosti až do 1000 MPa a s hrúbkou dosahujúcou až 4 mm. Klinčový spoj má pomerne vysokú medzu únavy, ktorá dokonca prevyšuje hodnoty únavových lomov bodového odporového zvarovania. V neposlednom rade ide o vysoko efektívnu metódu aj z ekonomického hľadiska.

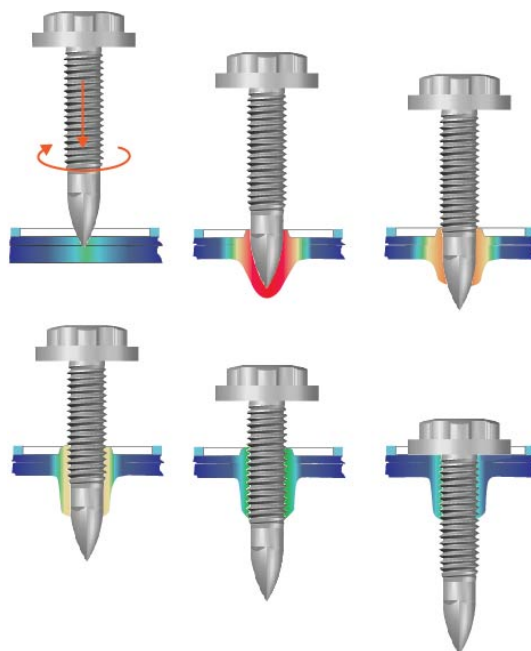
K tvorbe klinčového spoja je potrebný prístup pre nástroj z oboch strán materiálu. V mieste spoja vzniká tvarový výčnelok, ktorý môže byť nežiadúci z funkčného, ale aj dizajnového hľadiska. Medza pevnosti klinčového spoja je nižšia ako medza pevnosti u bodového odporového zvarovania. Spájané plechy musia byť dostatočne tváriteľné, aby mohli byť spojené klinčovaním. Tváriteľnosť však možno zvýšiť predohrevom materiálu, čo zabraňuje tvorbe prasklín na spoji a umožňuje formovať spoj do tvarov, ktoré zvyšujú pevnosť spoja.

Najčastejšími príčinami zlyhania spoja je vyvlečenie plechov alebo odtrhnutie výčnelku – hlavičky, spôsobené šmykovým napätím. Takisto môže nastať aj kombinovaná chyba, kedy sa časť spoja vyvlečie a časť spoja sa odtrhne. Čím je matrica hlbšia, tým je spoj náchylnejší na odtrhnutie. Pri spojoch vyrábaných na plytších maticiach sa častejšie vyskytuje chyba vyvlečenia. Pre kvalitný a funkčný spoj je potrebné, aby sa dodržali nasledujúce parametre zobrazené na obrázku 13. Výška výčnelku vo vrchnom plechu  $\Delta s$  a hrúbka krčku  $\Delta t$  musia byť dostatočné. Spojovaný plech nesmie byť zdeformovaný ani zvlnený (1). Spodný spájaný diel musí úplne vyplniť drážku matrice (2). Medzi vrchným a spodným dielom nesmú zostať žiadne medzery (3). Spoj v oblasti krčku nesmie byť nadmerne zaťažovaný ťahovým namáhaním (4). Hrúbka dna X nesmie byť príliš malá. Čím väčšia je hĺbka hlavičky  $h$ , tým sa zvyšuje výška výčnelku  $\Delta s$  a znižuje sa hrúbka krčku  $\Delta t$ . So zvyšujúcou sa hĺbkou hlavičky  $h$  sa zvyšuje pevnosť v šmyku, ale len do určitého maxima. To je ideálna hĺbka hlavičky, ktorú je nutné experimentálne určiť pre konkrétny typ matrice a razníka a pre konkrétny druh materiálu. Kvalita klinčového spoja sa určuje podľa výsledkov statickej skúšky ťahom a únavovej skúšky.

## 2.8 Trecie samozávrtné skrutky [5], [23], [24], [25]

Spájanie plechov pomocou trecích skrutiek (flow drilling screws – FDS) je metóda, pri ktorej skrutka plní funkciu nástroja aj spojovacieho prvku zároveň. Proces využíva trenie spôsobené rotujúcou skrutkou na vytvorenie diery v spájaných materiáloch, v ktorých sa vytvoria závit a pláty plechu sa spoja. Táto metóda bola vyvinutá z trecieho vŕtania (friction drilling), ktoré pracuje na rovnakom princípe vytlačania materiálu, ale vytvára len hladké diery bez závit. Metóda spájania pomocou FDS vznikla pôvodne ako alternatíva spájania častí karosérií v automobilovom priemysle pomocou bodového odporového zvarovania. Dnes ju už využívajú aj výrobcovia bielej techniky, lietadiel a iných produktov, ktoré majú plechové časti.

Hlavný prvok spoja je trecia skrutka, ktorá sa skladá z plochej hlavy, relatívne hrubého drieku a špicatého hrotu. Hlava môže byť navrhnutá pre vnútorné alebo vonkajšie ťahovacie systémy (šesťhranná hlava alebo TORX). Driek je rozdelený do troch zón: špicatá časť bez závitov (pre tvorbu otvoru), krátka stredná časť s čiastočným závitom (pre tvarovanie závitov v spojovanom materiáli) a vrchná časť s úplným závitom (pre utiahnutie skrutky). Obrázok 14 ukazuje proces tvorby spoja, ktorý sa skladá zo šiestich krokov: ohrev materiálu, vniknutie do materiálu, tvarovanie diery, tvarovanie závitov, skrutkovanie a utiahnutie. V prvom kroku sa skrutka otáča vysokými otáčkami až 6000 ot/min na povrchu spájaného plechu.

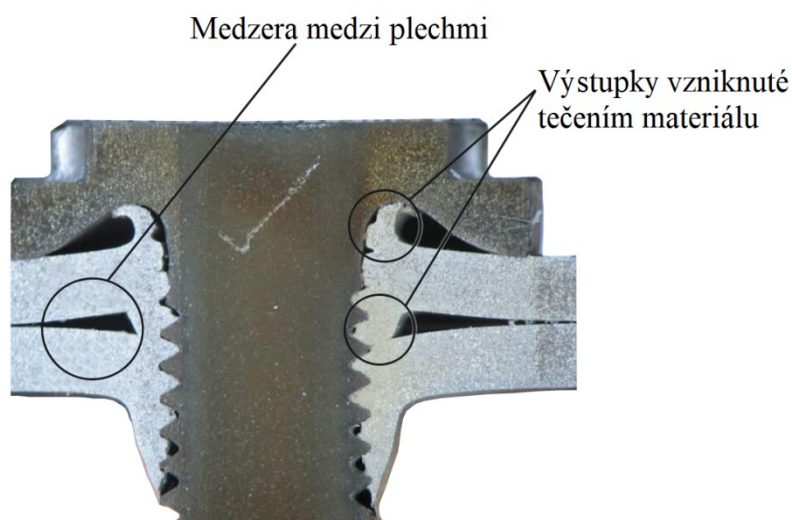


Obr. 14 Tvorba FDS spoja [24]

Trenie spôsobuje ohrev materiálu a povrchová teplota dosahuje 150-250 °C, v závislosti od materiálu a hrúbky plechu. Zvýšené teploty znižujú mechanickú odolnosť materiálu a pôsobením prítlačnej sily spájací prvok preniká do plechu. Pretrvávajúcim zatlačovaním skrutky s kónickým hrotom vzniká diera. Pri tomto kroku sa vytláča časť materiálu do oboch smerov. Vzniká výstupok, ktorý je tvorený z materiálu vytečeného nahor pod hlavu skrutky. Pretláčanie pretrváva až do úplného preniknutia a vytvorenia diery cez všetky spájané plechy. Následne sa pomocou závitovej časti v skrutke vytvára závit v materiáli plechu. Tento krok sa deje so zníženými otáčkami. Do novovzniknutého závitú sa zaskrutkuje skrutka a následne sa dotiahne na požadovanú silu. Pred poslednými dvoma krokmi sa znova znížia otáčky v závislosti od vlastností plechov až na 200 ot/min.

Hlavnými výhodami tohto typu spájania plechov je, že tvorba spoja nevyžaduje prístup na obe strany spájaných dielcov, a taktiež odpadá nutnosť výroby dier do spájaných dielcov. Z hľadiska automatizácie to ohromne zjednodušuje manévrovanie so spájacím zariadením, pretože nie je nutné používať C rámy, ktoré sa používajú pri bodovom zvarení, klinčovaní, alebo samodierovacom nitovaní. Pevnosť spoja je mierne nižšia ako pevnosť bodového zvaru,

ale je porovnateľná s ostatnými vymenovanými technológiami. Táto metóda však nemusí byť vhodná pre niektoré výrobky nielen z estetického, ale aj z funkčného hľadiska kvôli vytrčajúcejmu hrotu skrutky zo spoja. Na obrázku 15 sú zobrazené výstupky vzniknuté tečením materiálu. Kvôli tomu je nutné prispôsobiť tvar hlavy skrutky tak, aby bolo poskytnuté miesto pre tok materiálu. Výstupky sa však tvoria aj na spodných stranách plechov. Výstupok, ktorý vznikne medzi plechmi môže odtlačiť od seba spájané dielce a vytvoriť medzi nimi nežiadúcu medzeru. S týmto faktorom treba rátať a spoj je nutné navrhnuť tak, aby táto medzera nebola príliš veľká a spoj disponoval požadovanými vlastnosťami. Táto technológia je pomerne nová a poskytuje priestor pre ďalšie skúmanie pri použití rôznych materiálov plechov a skrutiek.



Obr. 15 Detail FDS spoja [25]

## 2.9 Bodové trecie zvaranie [1], [26]

Bodové trecie spájanie (Friction stir spot welding – FSSW) je technológia spájania na princípe vývinu tepla z trenia. Táto technológia bola vyvinutá v roku 2003 spoločnosťami Mazda Motor Corp. a Kawasaki Heavy Industries. Metóda bola pôvodne určená k montáži hliníkovej kapoty a zadných dvier automobilu. Odvtedy sa jej použitie rozšírilo aj do iných automobilových spoločností, k výrobcam lietadiel, nákladných automobilov alebo domácich spotrebičov. Spoj je vytváraný pritlačením rotujúceho valcového nástroja na spojované plechy. Nástroj sa skladá z troch častí: vonkajší prstenec, vnútorný kolík a spodná podložka. Prstenec a kolík súčasne rotujú rovnakými uhlovými rýchlosťami, pričom sa môžu nezávisle od seba axiálne pohybovať. Spodná podložka je nehybná. Uhlová rýchlosť nástroja sa líši v závislosti od hrúbky plechu a druhu materiálu.

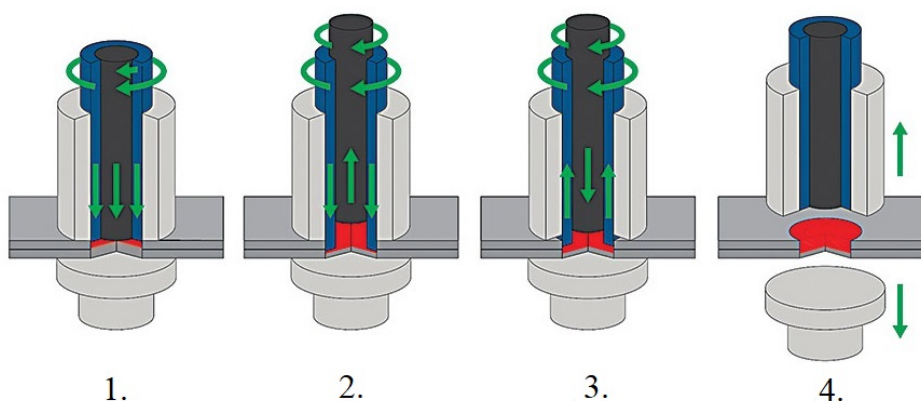
Pre hliníkové plechy sa uhlová rýchlosť nástroja pohybuje okolo 2000 ot/min, ale pre niektoré materiály môže dosahovať až 4500 ot/min. Tento proces má štyri kroky, ktoré sú znázornené na obrázku 16:

1. Najprv sa nástroj umiestni kolmo nad pracovnú plochu a začne sa otáčať. Nástroj sa pritlačí voči plechu silou 1500 až 5800 newtonov. Trenie z rotujúceho nástroja vyvíja teplo a zohrieva plech až na 500 kelvinov. Spojovaný materiál nepresiahne teplotu tavenia.

2. Prstenec sa zatlačí do zmäkčeného kovu, pričom kolík sa mierne vysunie, aby sa vtlačený materiál mal kam premiestniť. Prstenec prenikne len čiastočne do spodného plechu. Nástroj sa vždy otáča.

3. Následne sa prstenec aj kolík vrátia do pozície, v ktorej sú v jednej rovine s pracovným povrchom vrchného plechu. V tomto procese sa zmiešavajú materiály jednotlivých plechov.

4. Na záver sa rotácia zastaví, nástroj je odobratý z miesta spoja a po ochladení materiálu je spoj hotový.



Obr. 16 Bodové trecie zváranie [26]

FSSW je veľmi podobné treciemu zváraniu (Friction stir welding – FSW), avšak pri spojovaní metódou FSW vzniká na vrchnom plechu hrbolatý spoj s malým prstencovým výstupkom pozdĺž vonkajšieho okraja. Pri mnohých výrobkoch táto nedokonalosť nie je podstatná, avšak ak je zvýšená požiadavka na estetický vzhľad, alebo sa výrobok posudzuje aj z aerodynamického hľadiska, tvar zvaru už nie je zanedbateľný. Na spodnej strane FSSR spoja je len malé otláčenie a na vrchnej strane spoja sú dva sústredné prstence od rotujúcich nástrojov. Medzi ďalšie výhody patrí malá teplom ovplyvnená oblasť a menšia energetická náročnosť ako napr. pri odporovom zváraní.

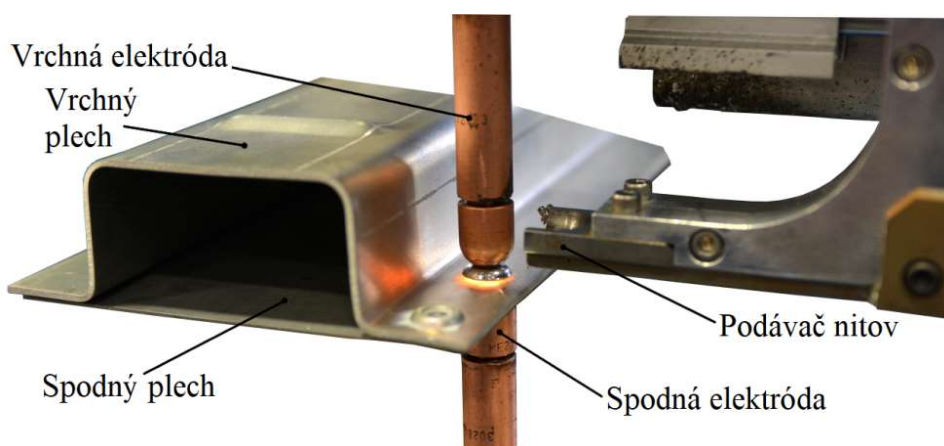
## 2.10 Bodové odporové nitovanie [27], [28]

Bodové odporové nitovanie (Resistance spot riveting - RSR) je technológia spájania plechov, ktorá kombinuje technológiu tradičného nitovania a bodového odporového zvárania. Ide o jednu z najnovších metód, ktorou je možné spájať pláty plechov. V automobilovom priemysle sa kladie stále väčší dôraz na znižovanie hmotnosti vozidla. To prinieslo vývoj niekoľkých nových technológií spájania plechov ako klinčovanie, samodierovacie nitovanie alebo trecie bodové zváranie. Nevýhodou týchto technológií je, že všetky vyžadujú, aby výrobcovia kompletne nahradili svoju súčasnú používanú technológiu a väčšinou ide o technológiu bodového odporového zvárania. Technológia bodového odporového nitovania pracuje s existujúcimi zariadeniami bodového zvárania, čo umožňuje výrobcovi spájať materiály bez toho, aby museli zásadne meniť svoje výrobné zariadenia a linky. Na obrázku 17 je zobrazená tvorba spoja bodovým odporovým nitovaním.



Tvorba spoja začína vložением dvoch alebo viacerých listov plechu do štandardného bodového zvaracieho systému. Vrchný list má vopred vyrobený otvor pre nit. Existuje však výnimka pre hliníkové plechy, ktoré nemusia mať pripravenú dieru pre spoj. V tomto prípade je oceľový nit silou vtlačený do hliníkového plechu. Spodný list je vždy bez diery. RSR nit, ktorý je vyrobený z nízkouhlíkovej ocele alebo z hliníka, sa vloží medzi hornú elektródu zvaracieho zariadenia a vrchný plát plechu. Následne je nit pritlačený k materiálu a spustí sa tok elektrického prúdu prechádzajúci z vrchnej elektródy cez nit a spodný plát plechu do spodnej elektródy. Teplo vzniknuté prechodom prúdu roztaví stopku nitu a časť spájaného materiálu. Základné parametre, ktoré majú vplyv na spoj sú rovnaké, ako pri bodovom zvaraní: veľkosť elektrického prúdu, sila elektród pôsobiaca na materiál a zvarací čas. Doba, za ktorú vznikne jeden RSR spoj je približne 3 až 5 sekúnd, čo je porovnateľné s bodovým odporovým zvaraním.

Elektrický prúd neprechádza cez vrchné pláty plechu. Spoj je tvorený zvarovým spojmom medzi nitom a spodným plechom a tvarovým spojmom medzi nitom a vrchným plechom. To umožňuje použitie rôznych materiálov pre vrchnú spojovanú časť. Môžu byť použité materiály, ktoré sú nevodivé, alebo majú horšiu zvariteľnosť metódou bodového odporového zvarovania. Takisto sa dajú spájať povlakované, alebo inak povrchovo upravené materiály. Z toho pochopiteľne vyplýva, že spájať navzájom plechy z rôznych materiálov alebo hrúbok bodovým odporovým nitovaním nie je problém. Hlava nitu je navrhnutá tak, aby bola použiteľná už s existujúcimi elektródami, ktoré sa v súčasnosti bežne používajú. Pevnosť spoja je porovnateľná s pevnosťou bodového zvaru. K už používanému zvaraciemu zariadeniu je nutné nainštalovať len podávač nitov. Metóda bodového odporového nitovania ponúka možnosť spájať rozličné materiály s vysokou pevnosťou spoja a bez veľkých investícií do výrobných zariadení. V súčasnosti však táto technológia ešte nie je komerčne dostupná a stále sa len vyvíja.



Obr. 17 Bodové odporové nitovanie [28]

### 3 PEVNOSŤ SPOJA VYBRAÝCH METÓD [1], [2]

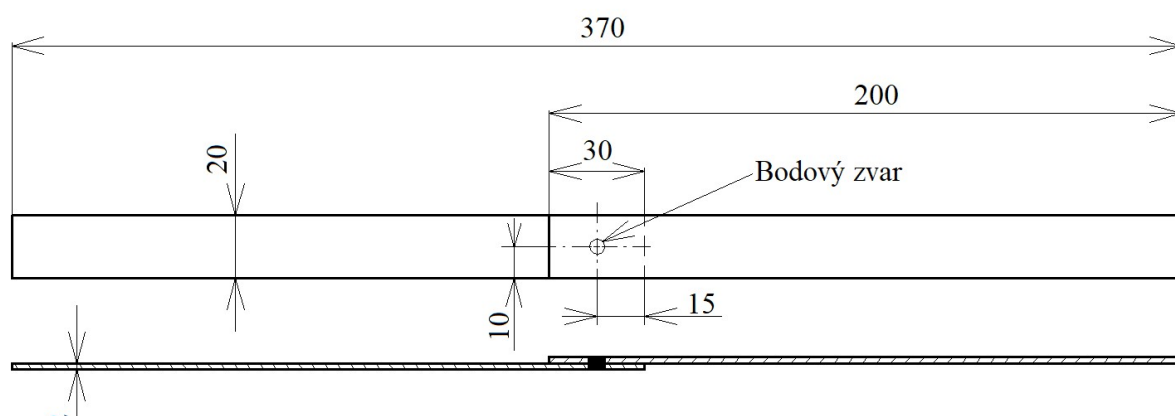
Pevnosť spoja je jedna z najpodstatnejších vlastností, ktorou spájané plechy disponujú. Aby bol daný spoj funkčný, musí vydržať určité zaťaženie, ktorým je nejaký konkrétny diel namáhaný. Ak je pevnosť spoja nedostatočná, dochádza k porušeniu spoja, a tým pádom k oddeleniu alebo k zmene geometrie výrobku. Pevnosť spoja je možné posudzovať viacerými metódami. Na posúdenie pevnosti spoja bola použitá statická mechanická skúška, ktorá určuje správanie materiálu pri pôsobení spojitých síl zväčšujúcich sa malou rýchlosťou. Vybrané metódy spájania boli: bodové odporové zváranie, nitovanie pomocou trhacích nitov a klinčovanie. Boli zhotovené 3 druhy vzoriek, ktoré boli podrobené skúškou ťahu na trhacom stroji. Ide o vzorky bodového zvaru a nitového spoja pomocou dvoch rôznych druhov trhacích nitov. Výsledky skúšky boli porovnané s referenčnou skúškou klinčového spoja prevzatou z literatúry.



Obr. 18 ARO MA30 [29]

#### 3.1 Skúšobné vzorky bodového zvaru

Skúšobné vzorky bodového zvaru boli vyrobené vystrihnutím pásiakov plechu a ich následným spojením danou metódou. Rozmery vzoriek sú schematicky zobrazené na obrázku 19. Materiál plechu, z ktorého boli vystrihnuté bol pozinkovaná oceľ DX51. Metóda spájania bola bodové odporové zváranie na bodovej stojanovej zvaračke ARO MA30, zobrazenej na obrázku 18. Zvárací prúd bol nastavený na 8,8 kA. Zvárací čas bol 1,2 s a napätie 400 V. Plánovaný priemer zvaru bol 5 mm. Vzhľadom na použité elektródy, ktoré niesli určité známky opotrebenia, sa nepodarilo tento priemer dodržať. Skutočný priemer bodového zvaru bol väčší o niekoľko desiatín milimetra. Vzorky boli označené ako BOD. Z. VZ. n., čo značí: bodový zvar, vzorka číslo n. Počet skúšaných vzoriek bol 3. Vzorky bodových odporových zvarov sú zobrazené na obrázku 20.



Obr. 19 Schéma vzorky bodového zvaru



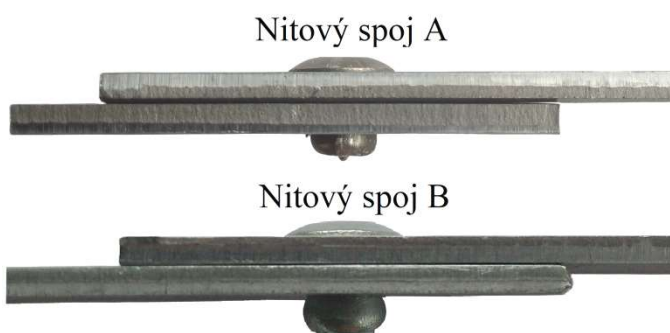
Obr. 20 Vzorky bodových odporových zvarov

## 2.3 Skúšobné vzorky nitových spojov

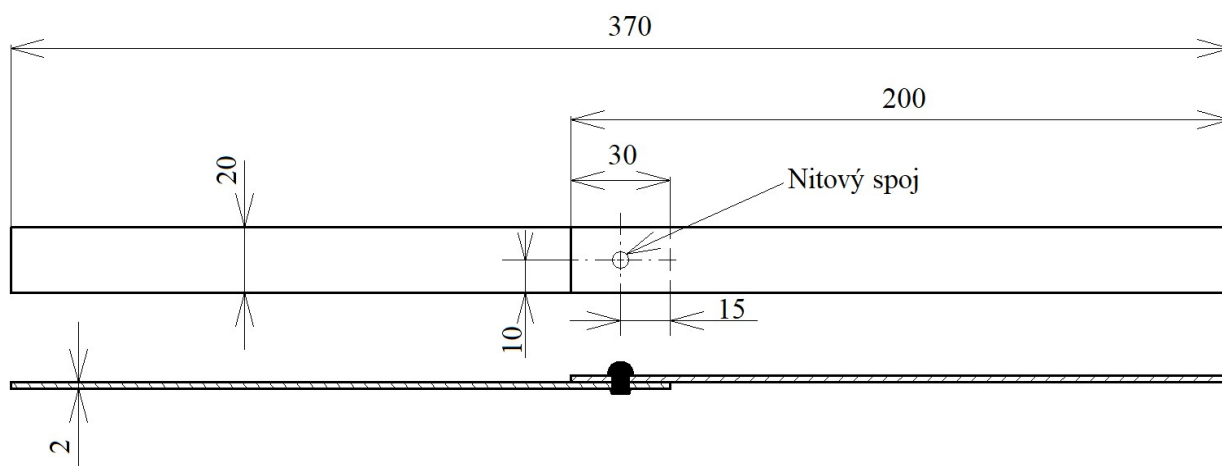
Skúšobné vzorky nitových spojov mali rovnaké rozmery ako skúšobné vzorky bodového zvaru a boli zhotovené z rovnakého materiálu, teda z pozinkovanej oceli DX51. Schématické zobrazenie vzorky nitového spoja je na obrázku 22. Na vytvorenie spoja bola použitá metóda spájania nitovaním pomocou trhacích nitov. Touto metódou boli vytvorené dva druhy vzoriek. Ich rozdiel spočíval v inom type použitého trhacieho nitu. Oba druhy nitových spojov sú zobrazené na obrázku 21.

Skúšobné vzorky nitového spoja A, označené ako NIT.S. a VZ. n, čo značí: nitový spoj, typ A, vzorka číslo n, boli spojené pomocou trhacieho nitu s priemerom 4 mm. Materiál hlavy nitu je hliník. Materiál, z ktorého je vyrobený trň je oceľ.

Skúšobné vzorky nitového spoja B, označené ako NIT.S. b VZ. n, čo značí: nitový spoj, typ B, vzorka číslo n, boli spojené pomocou trhacieho nitu z pozinkovanej ocele. Priemer nitu je 4,8 mm. Hlava nitu aj trň je vyrobený z pozinkovanej ocele. Vzorky nitových spojov sú zobrazené na obrázku 23.



Obr.21 Nitové spoje



Obr. 22 Schéma vzorky nitového spoja



Obr. 23 Vzorky nitových spojov

## 2.4 Skúška ťahom

Skúška ťahom bola vykonaná na hydraulickom skúšobnom stroji ZD40, ktorý umožňuje uskutočňovať ťahové, tlakové a ohybové skúšky materiálu do 400 KN. Skúška bola vykonaná podľa normy ČSN EN ISO 6892-1. Na obrázku 22 je zobrazené upnutie vzorky v čelustiach trhacieho stroja. Počas ťahovej skúšky bola vzorka upnutá v čelustiach a natáľhovaná až do momentu pretrhnutia. Pribeh skúšky bol zaznamenávaný snímačom polohy a snímačom sily s riadiacou jednotkou EDC 60. Zo zaznamenaných dát bola určená hodnota maximálnej sily, ktorou bola vzorka zaťažená než došlo k pretrhnutiu. Z nameraných dát boli vytvorené ťahové diagramy. Rýchlosť skúšky bola 20 mm/min. V prílohe 1 je potrebný popis trhacieho stroja.



Obr. 24 Skúška ťahom

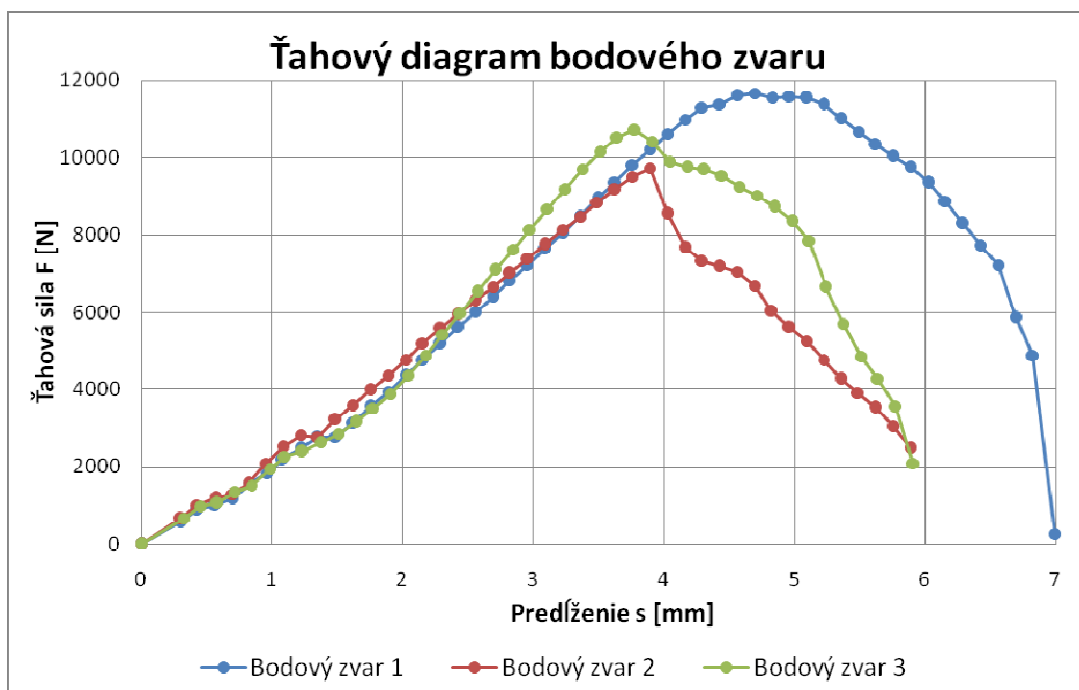
## 2.5 Porovnávacia skúška klinčového spoja [20]

Pre porovnanie spoja bodového zvaru a nitových spojov bola vzatá skúška klinčového spoja z literatúry, ktorá sa zaoberá pevnosťou klinčového spoja v závislosti od technológií formovania spoja. Klinčovým spojom boli spojené pásiky plechu z materiálu DX51. Plechové pásiky mali šírku 49 mm a dĺžku 112,5 mm. Napriek tomu, že rozmery pásikov plechu sa líšili od rozmerov vzoriek bodového zvaru a nitových spojov, je tieto skúšky možné navzájom porovnať, pretože rozdiel v rozmeroch nemá vplyv na hodnotu zaťaženia, pri ktorej dochádza k porušeniu spoja. Rozmery sú odlišné len kvôli spôsobu upevňovania vzorkov do čelustí trhacieho stroja. Priemer klinčového spoja bol 5,6 mm. Priemerná hodnota zaťaženia, pri ktorej dochádzalo k poškodeniu spoja bola 3140 N.

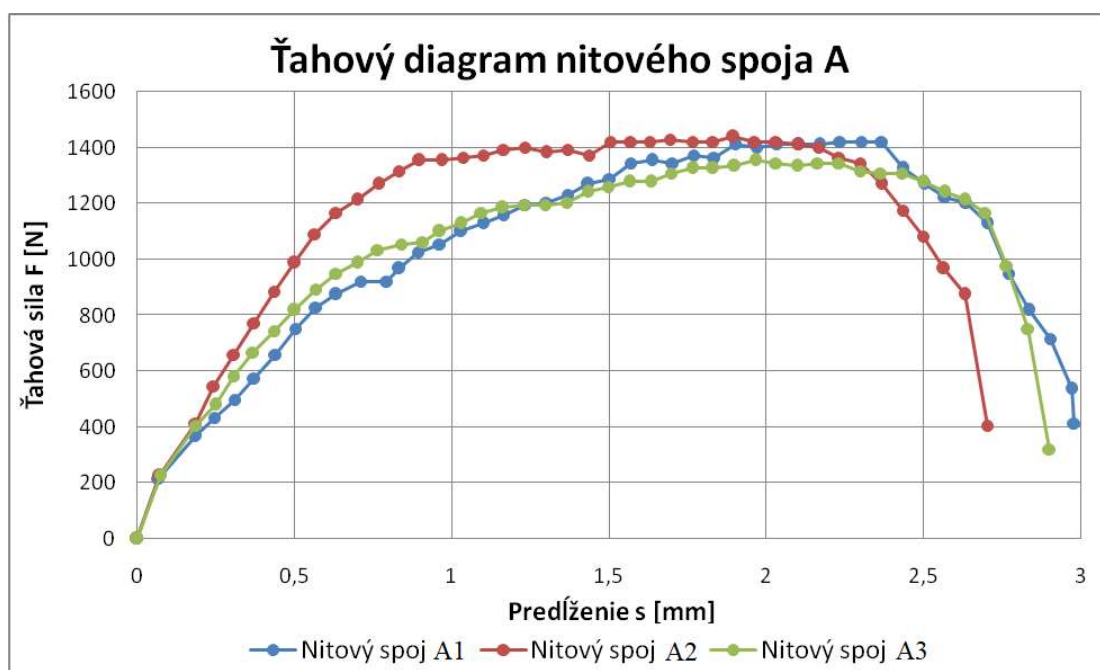


## 2.6 Výsledky skúšky ťahom

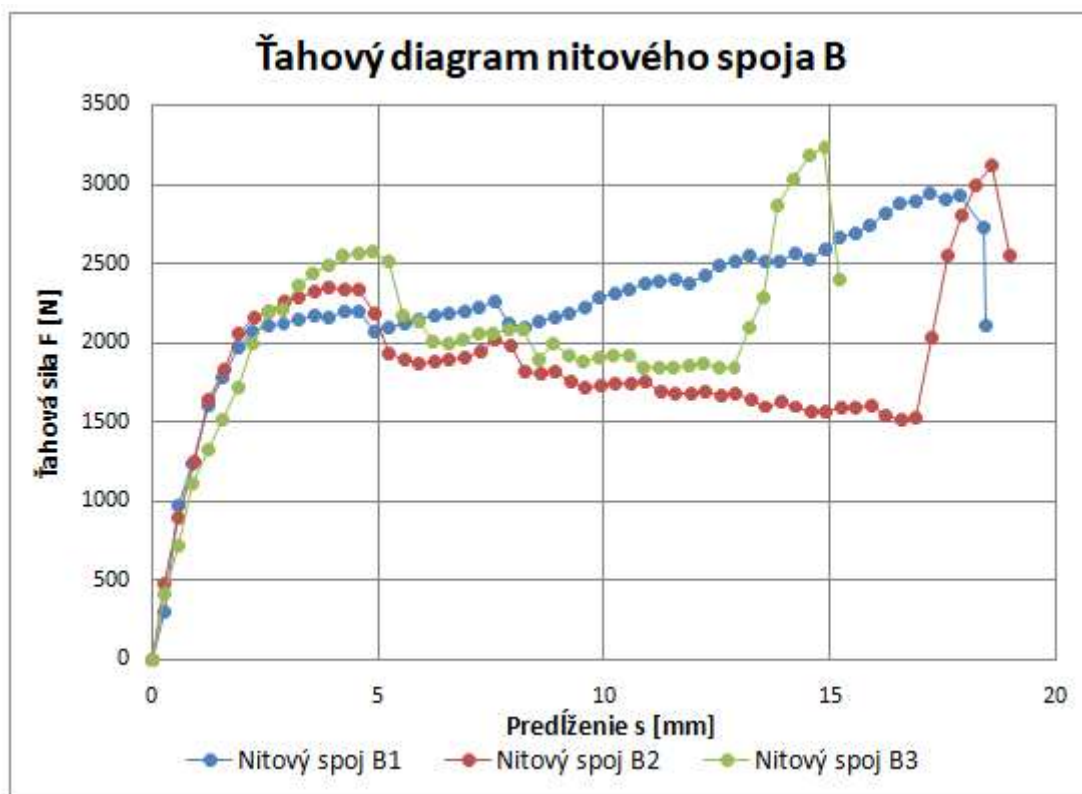
Priebeh ťahových skúšok sú graficky spracované v diagramoch na obrázkoch 25, 26 a 27. Hodnoty ťahových síl, pri ktorých došlo k porušeniu spojov, sú zaznamenané v tabuľke 2. V grafe na obrázku 28 je zobrazené porovnanie stredných hodnôt maximálnej sily jednotlivých spojov. Do tohto grafu bola vložená aj maximálna hodnota silového zaťaženia klinčového spoja, ktorá bola prevzatá z literatúry.



Obr. 25 Ťahový diagram bodového zvaru



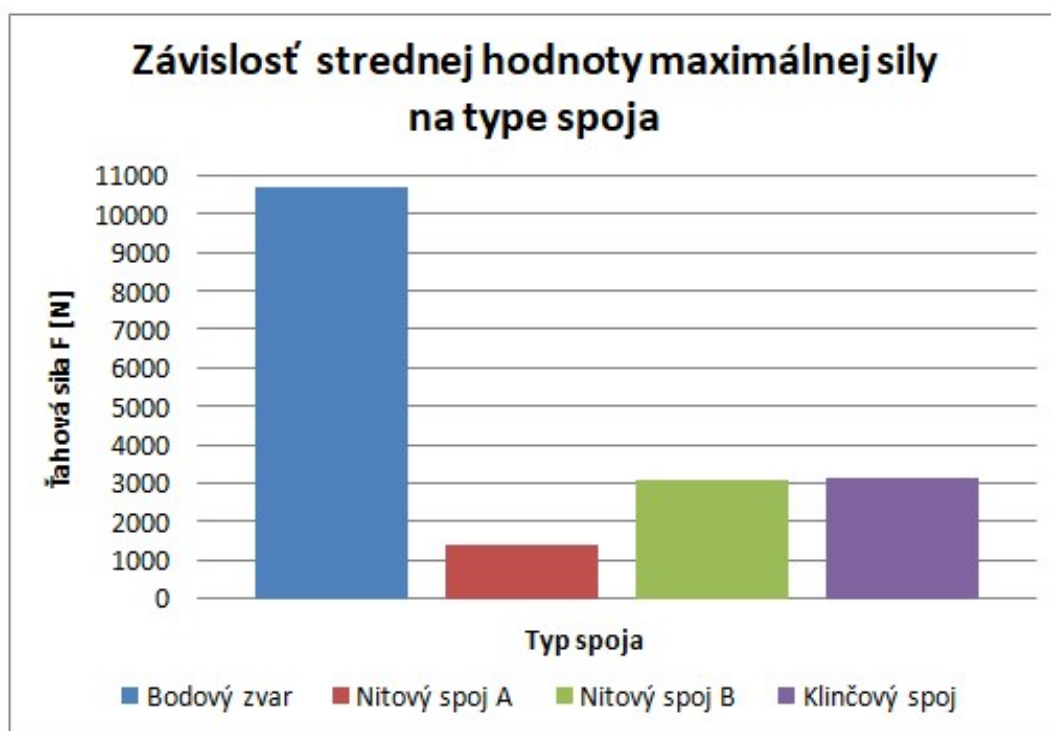
Obr. 26 Ťahový diagram nitového spoja A



Obr. 27 Ťahový diagram nitového spoja B

Tab. 2 Maximálne hodnoty zaťaženia jednotlivých vzoriek

Typ spoja	Skúšobná vzorka	Maximálna sila F [N]	Stredná hodnota maximálnej sily pre daný typ spoja F [N]
Bodový zvar	Bodový zvar 1	11662	10722
	Bodový zvar 2	9725	
	Bodový zvar 3	10778	
Nitový spoj A	Nitový spoj A1	1439	1420
	Nitový spoj A2	1458	
	Nitový spoj A3	1364	
Nitový spoj B	Nitový spoj B1	2963	3126
	Nitový spoj B2	3170	
	Nitový spoj B3	3245	



Obr. 28 Graf závislosti strednej hodnoty maximálnej sily na type spoja

## 5 ZÁVERY

V praktickej časti práce bolo preukázané, že z testovaných vzoriek spojov mal najväčšiu únosnosť spoj zhotovený technológiou bodového odporového zvarovania. Najmenšiu únosnosť mal spoj zhotovený technológiou nitovania pomocou trhacích nitov typu A, teda nitov s hliníkovou hlavou a ocelovým trňom. Tento spoj vydržal len 13,2% záťaže, ktorú vydržal bodový odporový zvar. Únosnosť klinčového spoja získaná z literárnej štúdie je porovnateľná s únosnosťou nitového spoja vytvoreného trhacími nitmi s ocelovou hlavou a ocelovým trňom. Pomer záťaže, ktorú uniesli tieto typy spojení ku spoju vytvoreného bodovým odporovým zvarom je 29,1% pre nitový spoj B a 29,3% pre klinčový spoj. Priemer bodového zvaru mal jemne väčší priemer ako priemer ostatných spojov. To malo vplyv na pomer hodnoty, pri ktorej došlo k poškodeniu spojov ku maximálnej hodnote zaťaženia bodového zvaru. Napriek tomu môžeme predpokladať, že v prípade priemeru bodového zvaru presne 5 mm nedôjde k výraznejšiemu klesnutiu únosnosti spoja a vždy by táto technológia vydržala najväčšiu hodnotu zaťaženia z vybraných metód spájania.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [30]

1. MALLICK, P. K. *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*. Great Abington: Elsevier Science, 2010. DOI: 10.1533/9781845697822. ISBN 1845694635.
2. CAMPBELL, F.C. *Joining: Understanding the Basics*. Materials Park: A S M International, 2010. ISBN 9781615038251.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. 3.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
4. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
5. LIU, Liming. *Welding and Joining of Magnesium Alloys*. Cambridge: Elsevier Science & Technology, 2010. DOI: 10.1533/9780857090423. ISBN 9781845696924.
6. PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: SNTL, 1975, 265 s.
7. KOSINKA, Jakub. *Bodové odporové svařování*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2016.
8. KOLAŘÍKOVÁ, Marie a Ladislav KOLAŘÍK. *Optimalizace svařovacích parametrů při odporovém bodovém svařování kombinovaných materiálů* [online]. In: . Univerzita Pardubice, 2013, s. 98-104 [cit. 2019-02-24]. ISBN 978-80-7395-735-3. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/54207>
9. *Spottrack* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.spottrack.eu/why-spottrack/technical-challenge.jsp>
10. KAZAKOV, Yu. V. a V. P. POTEKHIN. Mechanism of the formation of the weld core in the resistance seam welding of components with greatly differing thickness. *Welding International* [online]. Taylor & Francis Group, 2012, 26(9), 723-727 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1080/09507116.2011.653153. ISSN 0950-7116.
11. NI, Jun a Wuxue DING. Solid riveting process optimization for the reduction of key point distortions caused by locating. *Assembly Automation* [online]. Bedford: Emerald Group Publishing Limited, 2019, 39(1), 34-44 [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.1108/AA-12-2017-178. ISSN 01445154. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/2209898130/>
12. Copper Cookware Rivets. *Housecopper* [online]. 2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://housecopper.com/2018/05/copper-cookware-rivets/>
13. AMAN, Faisal, S. CHERAGHI, Krishna KRISHNAN a Hamid LANKARANI. Study of the impact of riveting sequence, rivet pitch, and gap between sheets on the quality of riveted lap joints using finite element method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer-Verlag, 2013, 67(1), 545-562 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1007/s00170-012-4504-6. ISSN 0268-3768.
14. WEBER, Austin. Assembly Handbook: Blind Riveting. *Assembly* [online]. 2001 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/84047-assembly-handbook-blind-riveting>
15. Würth katalog výrobků. *Würth* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://87.237.204.225/katalog/index.html#206/z15>

16. KAŠČÁK, Ľuboš a Emil SPIŠÁK. *Joining materials by self-piercing riveting method* [online]. 2012 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/22-2012/pdf/043-046.pdf>
17. KAŠČÁK, L., E. SPIŠÁK a J. MUCHA. Evaluation of properties of joints made by clinching and self-piercing riveting methods. *Acta Metallurgica Slovaca* [online]. 2012, 18(4), 172-180 [cit. 2019-05-22]. ISSN 13351532.
18. CAMILLO, Jim. Fasteners for Automotive Lightweighting. *Assembly* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/94010-fasteners-for-automotive-lightweighting>
19. SPROVIERI, John. Advances in Self-Piercing Riveting. *Assembly* [online]. 2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/94431-advances-in-self-piercing-riveting>
20. MUCHA, Jacek a Waldemar WITKOWSKI. The clinching joints strength analysis in the aspects of changes in the forming technology and load conditions. *Thin-Walled Structures* [online]. Elsevier, 2014, 82 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016/j.tws.2014.04.001. ISSN 0263-8231.
21. MUCHA, J., L. KAŠČÁK a E. SPIŠÁK. Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* [online]. Elsevier B.V, 2011, 11(1), 135-148 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016/S1644-9665(12)60179-4. ISSN 16449665.
22. KAŠČÁK, Ľuboš, Emil SPIŠÁK a René KUBÍK. Clinching of Dual-Phase Steels as an Alternative to Resistance Spot Welding. *Materials Science Forum* [online]. Pfaffikon: Trans Tech Publications, 2018, 919, 68-77 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.919.68. ISSN 02555476. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/2199239858/>
23. SPROVIERI, John. Flow-Drilling Screws Help Carmakers Shed Weight. *Assembly* [online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/93220-flow-drilling-screws-help-carmakers-shed-weight>
24. PELLETTIERI, John. High-Strength Lightweight Joints Using 'Flow Drill Screw' Technology. *Lightweighting world* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://lightweightingworld.com/high-strength-lightweight-joints-using-flow-drill-screw-technology/>
25. SKOVRON, Jamie D., R. Rohan PRASAD, Durul ULUTAN, Laine MEARS, Duane DETWILER, Daniel PAOLINI, Boris BAEUMLER a Laurence CLAUS. Effect of thermal assistance on the joint quality of Al6063-T5A during flow drill screwdriving. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* [online]. American Society of Mechanical Engineers, 2015, 137(5), 51019 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1115/1.4031242. ISSN 1087-1357.
26. SPROVIERI, John. Friction Stir Spot Welding. *Assembly* [online]. 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/93337-friction-stir-spot-welding>

27. SPROVIERI, John. Resistance Spot Riveting. *Assembly* [online]. 2017 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/93677-resistance-spot-riveting>
28. Resistance Spot Rivet. *Arconic* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.arconicrsr.com/>
29. ARO WELDING TECHNOLOGIES. *Aeroexpo* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.aeroexpo.online/prod/aro-welding-technologies-169350.html>
30. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Samodierovacie nitovanie [19].....	9
Obr. 2 2 Spoj trhacími nitmi [14] .....	9
Obr. 3 Kufrík spojený bodovým odporovým zváraním .....	9
Obr. 4 Rozdelenie spojov podľa rôznych princípov tvorby spoja [1] .....	10
Obr. 5 Tvorba zvaru a priebeh teplôt [7] .....	11
Obr. 6 Bodový zvar v priereze [9] .....	11
Obr. 7 Švové zváranie [2] .....	13
Obr. 8 Priebeh tvorby výstupkového zvaru [2].....	14
Obr. 9 Rôzne druhy nitov [12].....	15
Obr. 10 Postup nitovania trhacími nitmi [15].....	15
Obr. 11 Tvorba spoja pomocou samodierovacieho nitovania [19].....	16
Obr. 12 SPR spoj troch plechov v priereze [19] .....	17
Obr. 13 Klinčový spoj [22] .....	17
Obr. 14 14 Tvorba FDS spoja [24] .....	18
Obr. 15 Detail FDS spoja [25] .....	19
Obr. 16 Bodové trecie zváranie [26].....	20
Obr. 17 Bodové odporové nitovanie [28] .....	21
Obr. 18 ARO MA30 [29].....	22
Obr. 19 Schéma vzorky bodového zvaru .....	22
Obr. 20 Vzorky bodových odporových zvarov .....	23
Obr. 21 Nitové spoje .....	23
Obr. 22 Schéma vzorky nitového spoja .....	23
Obr. 23 Vzorky nitových spojov .....	24
Obr. 24 24 Skúška ťahom .....	24
Obr. 25 Ťahový diagram bodového zvaru .....	25
Obr. 26 Ťahový diagram nitového spoja A .....	25
Obr. 27 Ťahový diagram nitového spoja B .....	26
Obr. 28 Graf závislosti strednej hodnoty maximálnej sily na type spoja .....	27



## **ZOZNAM TABULIEK**

Tab. 1 Zvariteľnosť kovov [6] .....	12
Tab. 2 Maximálne hodnoty zaťaženia jednotlivých vzoriek .....	26

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha 1   Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

## Příloha č.1    **Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/**

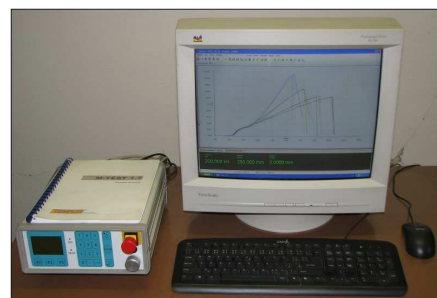
Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci univerzálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj.  $\pm 1 \%$  odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy:  $\pm 0,01$  mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60